

## Resum

L'objectiu d'aquest treball tracta el disseny d'una bomba peristàltica adaptable a una impressora BCN3D+, una impressora 3D domèstica comercialitzada per la Fundació CIM. Aquesta bomba peristàltica ha de permetre la impressió de peces de xocolata mitjançant la deposició controlada de xocolata fosa.

El treball representa una millora a un prototip encara no comercialitzat, i es realitza com a formació complementaria als estudis del Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials a l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona.

Aquest document està estructurat en diferents capítols per àrees temàtiques. El document ofereix una base teòrica a mesura que es va avançant en els temes del treball, d'aquesta manera se li oferirà al lector els coneixements necessaris per poder seguir el document sense dificultats.

El primer capítol serveix com a introducció per a permetre al lector saber com es va començar a gestar aquest projecte, i tenir en ment a les diferents parts que hi col·laboren. El segon capítol estableix les bases del treball i oferirà una visió clara dels objectius del projecte i es vol aclarir també quines són les parts que es tractaran.

Al capítol següent s'explicarà el funcionament del prototip sobre el qual es treballarà, oferint una visió general del seu funcionament, i una breu explicació de les possibles millores que s'hi podrien realitzar per tal de millorar-lo. També es comparen les diferents opcions que hi ha actualment al mercat per a solucionar el mateix problema i finalment es tenen en compte les característiques generals i les especificacions que oferirà el nou disseny.

Els dos capítols següents engloben el desenvolupaments de la solució final, passant des de l'estudi de les diferents alternatives fins al disseny de detall. Es duen a terme els càlculs necessaris i es prenen les decisions referents al disseny final, buscant la solució que s'adapti millor al disseny que es vol. En el següent apartat es fa una breu descripció de les proves experimentals dutes a terme, i l'explicació corresponent a com s'han anat solucionant els diferents inconvenients que han sorgit.

Finalment, per tancar la memòria, els dos últims capítols es realitza l'anàlisi de viabilitat econòmica i l'anàlisi d'impacte ambiental. Es conclou amb l'anàlisi econòmic la correcta viabilitat del projecte amb un VAN de 2.183,38 €, un TIR de 43,67% i un període de retorn de 2 anys. El projecte és tècnicament viable com ho demostra la fabricació del prototip.

Aquest projecte conclou la primera versió d'una bomba peristàltica que permeti la impressió de xocolata en 3D de forma continua.



# Sumari

<b>RESUM</b>	<b>1</b>
<b>SUMARI</b>	<b>3</b>
<b>1. PREFACI</b>	<b>5</b>
1.1. Origen del projecte .....	5
1.2. Motivació .....	5
<b>2. INTRODUCCIÓ</b>	<b>7</b>
2.1. Objectius del projecte .....	7
2.2. Abast del projecte.....	7
<b>3. CARACTERÍSTIQUES I ESPECIFICACIONS DE LA IMPRESSORA</b>	<b>9</b>
3.1. Estudi de característiques i funcionament.....	9
3.2. Estudi d'alternatives al mercat .....	11
3.2.1. Sistemes de xeringa.....	11
3.2.2. Sistemes de cargol.....	13
3.2.3. Sistemes de bomba .....	14
3.3. Limitacions a vèncer i especificacions del nou disseny .....	15
<b>4. DISSENY CONCEPTUAL</b>	<b>17</b>
4.1. Estudi d'alternatives .....	18
4.2. Selecció de proposta de disseny conceptual .....	24
<b>5. DISSENY DE DETALL</b>	<b>25</b>
5.1. Paràmetres de disseny .....	25
5.2. Càlculs .....	28
5.3. Solució adoptada.....	30
5.4. Programari utilitzat.....	32
<b>6. PROVES EXPERIMENTALS</b>	<b>35</b>
<b>7. ESTUDI DE VIABILITAT ECONÒMICA</b>	<b>39</b>
7.1. Costos de disseny .....	39
7.2. Costos de fabricació.....	40
7.3. Viabilitat econòmica .....	40
<b>8. AVALUACIÓ D'IMPACTE AMBIENTAL</b>	<b>43</b>
8.1. Fase de disseny .....	43

8.2. Fase de producció.....	43
<b>CONCLUSIONS</b> .....	<b>45</b>
<b>AGRAÏMENTS</b> .....	<b>47</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>49</b>
Referències bibliogràfiques .....	49
Bibliografia complementària .....	49

# 1. Prefaci

## 1.1. Origen del projecte

L'origen d'aquest projecte ve donat per la voluntat de col·laboració de tres entitats compromeses amb l'ensenyament i la recerca de noves tecnologies com són: la Universitat de Barcelona (UB) (a través del seu campus de l'Alimentació), la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) i la Fundació CIM, centre d'innovació especialitzat en tecnologies avançades de la producció, vinculat a la UPC. El conveni de col·laboració va ser signat al Laboratori de Demostracions Tecnològiques i Recerca Culinària (Santa Coloma de Gramenet) el 22 de juliol del 2015.

Des d'aquest nou equipament es vol promoure un conjunt d'activitats enfocades a la recerca i l'aplicació de la tecnologia d'impressió 3D com a línia d'experimentació en el camp de l'alimentació i la gastronomia.

El conveni [1] està integrat en un projecte més ampli que té com a objectiu principal crear el Centre d'Estudis i Recerca Gastronòmica de Catalunya, amb la iniciativa de la UB, la fundació Alcía i l'Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA). Aquest projecte, incorporat en la Modificació del pla general metropolità del recinte de Torribera, promogut per la Diputació de Barcelona, vol ser un dels punts principals de la comunitat gastronòmica que s'està construint en el projecte RIS3CAT, que impulsa la Generalitat amb vista a la futura Regió Europea de la Gastronomia que assumirà Catalunya el 2016.

## 1.2. Motivació

Actualment a la Fundació CIM es disposa d'un extrusor capaç d'imprimir amb pastes, anomenat *paste extruder*. El seu funcionament consisteix en un sistema de pinyó cremallera que, accionat per un motor pas a pas, empeny directament l'èmbol d'una xeringa. Però aquest sistema ofereix certes limitacions.

La principal motivació per tal de realitzar aquest projecte és proporcionar una major facilitat a l'hora de fer impressions amb xocolata, ja que per a cada impressió que s'havia de fer mitjançant el mètode actual del *paste extruder*, s'havia de tornar a preparar de nou la

xocolata i a part oferia certes limitacions de volum que amb aquest nou mètode es volen intentar resoldre. Vencent aquestes limitacions es podran adquirir geometries més ambiciosos i pràcticament impossibles sinó es fessin per aquest mètode.

Per altra banda també hi ha una motivació més personal, que és poder aportar els diferents coneixements que he pogut anar adquirint al llarg de la carrera, a un món que està en constant desenvolupament com és el de la impressió 3D, i poder participar en aquesta evolució de la tecnologia.

També s'hauria de fer referència a la possibilitat de col·laborar en certa manera per tal de desenvolupar un projecte més gran que en un futur s'espera que sigui comercialitzat i ajudi a superar els límits tecnològics que hi ha actualment.

## 2. Introducció

### 2.1. Objectius del projecte

L'objectiu principal del projecte és el disseny i fabricació d'una bomba peristàltica adaptable a una impressora 3D domèstica que incorpora un sistema de deposició continua, per tal de realitzar impressions 3D d'aliments en estat pastós.

Per això s'utilitzarà un prototip prèviament dissenyat a partir d'una impressora 3D domèstica, la BCN3D+ desenvolupada a la Fundació CIM mateix.

També es poden trobar certs objectius secundaris que cal complir per tal d'optimitzar l'ús de la bomba peristàltica:

Un d'aquests objectius secundaris més important és el de que la bomba es pugui muntar i desmuntar de la forma més senzilla possible. D'aquesta manera es podrà netejar el tub de forma més eficaç, i fins i tot permetre la possibilitat de l'ús de recanvis en cas del trencament del tub.

Ha d'evitar els polsos produïts per la bomba peristàltica, ja que el que es vol és una aportació de fluid continua, per evitar parts de la peça impresa on no hi arribi suficient fluid.

Per tal de seguir amb el plantejament de la *Fundació CIM* i el de les impressores RepRap, aquest projecte haurà de tenir continuïtat en aquesta línia i per tant seguir amb la filosofia *Open Source* o de Codi obert. Per fer-ho així s'ha de pensar en materials que puguin ser obtinguts fàcilment, i facilitar tota la documentació necessària perquè qui vulgui pugui treballar amb el disseny, ja sigui fabricant-lo, o bé millorant-lo.

### 2.2. Abast del projecte

L'abast d'aquest projecte comprèn primer de tot des de la recerca d'informació per a poder solucionar el problema de la bomba peristàltica actual, fins a la confecció d'un primer prototip funcional. Per tal d'aconseguir aquest prototip es realitzaran els càlculs necessaris per al disseny, com també la fabricació del prototip com a complement per a impressores

RepRapBCN tipus BCN3D+.

També s'hauran de realitzar els càlculs necessaris per determinar el cabal adequat que necessitarà la bomba peristàtica per al seu correcte funcionament. Com també la realització de proves experimentals per millorar el funcionament de la bomba.

Per acabar de completar el projecte s'haurà de realitzar un estudi de viabilitat econòmica per determinar si el projecte dut a terme és rendible. S'haurà de dur a terme un segon estudi de viabilitat, però en aquest cas s'analitzarà l'impacte ambiental que causarà el projecte un cop desenvolupat.



### 3. Característiques i especificacions de la impressora

#### 3.1. Estudi de característiques i funcionament

El prototip amb el qual es treballarà conté certes modificacions realitzades sobre una impressora BCN3D+ comercialitzada. Seguidament s'oferirà una breu descripció de cada sistema per facilitar l'explicació del projecte.

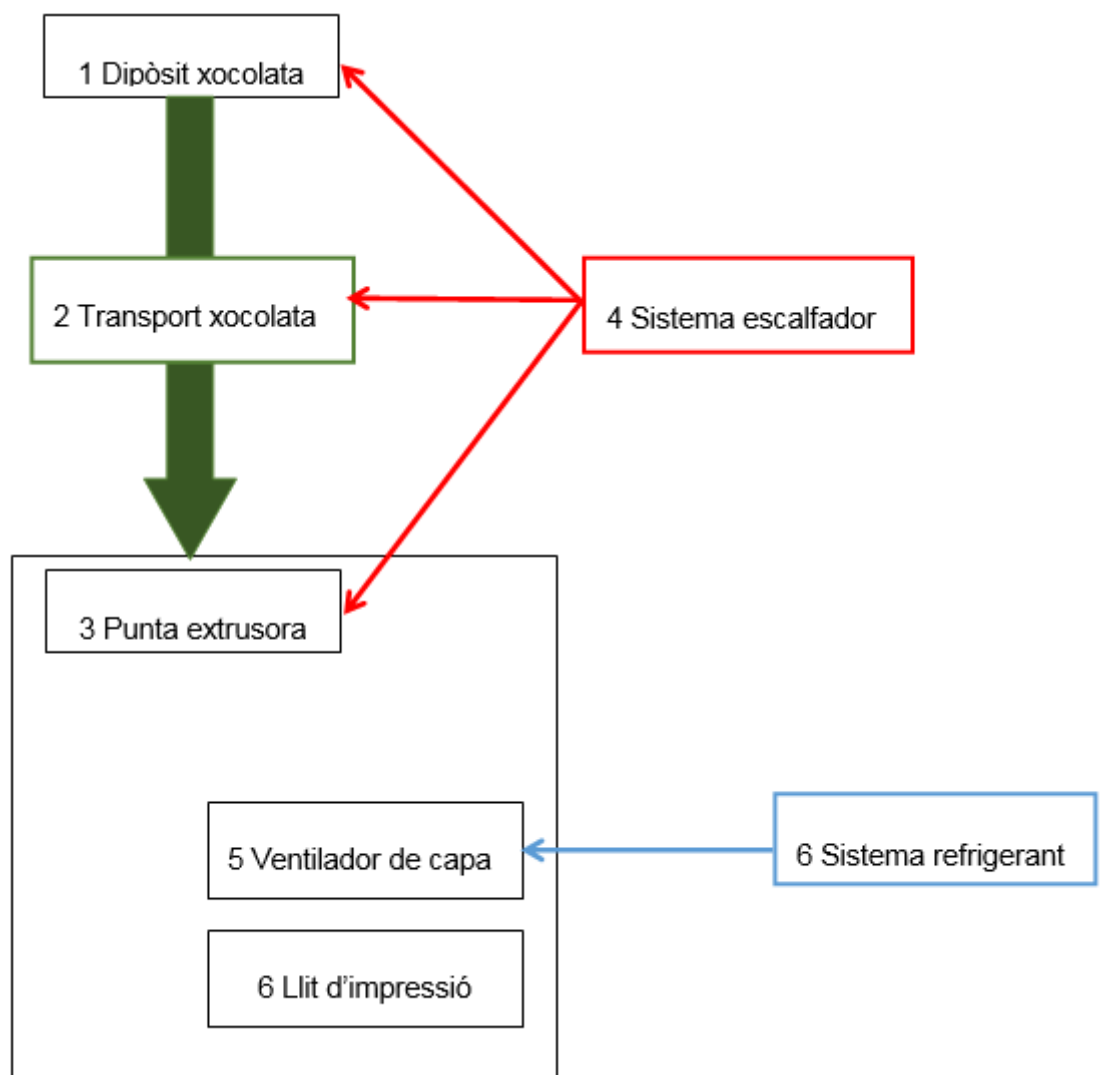


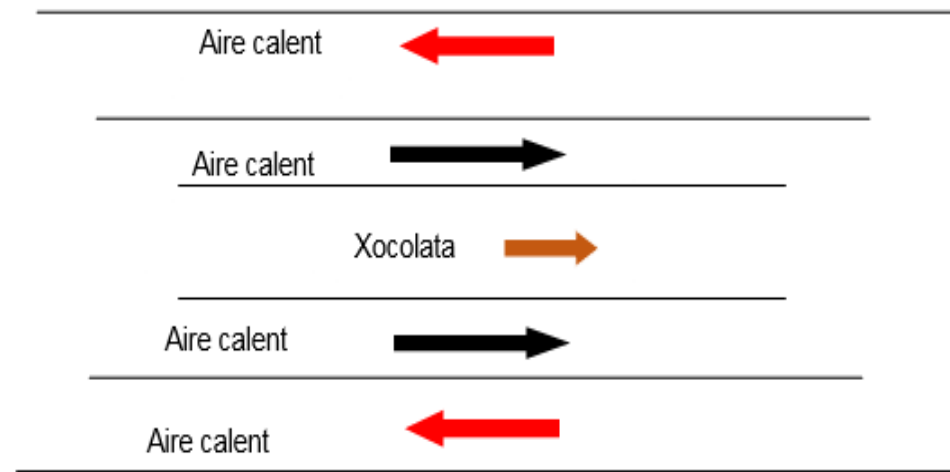
Fig. 3.1 Esquema de la impressora actual

- 1- Dipòsit:** es disposa d'un dipòsit on es col·loca la xocolata desfeta. En aquest dipòsit s'ha de remenar manualment la xocolata per tal de que s'obtingui una temperatura

homogènia, actualment no disposa de cap sistema d'escalfament, però se li podria afegir.

- 2- **Sistema de transport de xocolata:** és el sistema que permet transportar la xocolata des del dipòsit fins a la punta extrusora. Només s'utilitza per a transportar la xocolata en estat fluid, no pas sòlid. Aquest sistema consta del tub per el qual passa la xocolata en el seu estat pastós, aquest tub ha de ser adequat per tal de poder-se usar en contacte amb aliments. Ha de mantenir certa temperatura per tal que la xocolata no es solidifiqui impeding d'aquesta manera el seu transport. També forma part d'aquest sistema la bomba peristàltica, que permet el moviment de la xocolata, la bomba utilitzada en aquest primer prototip és una bomba comercial, i que no permet netejar de forma senzilla el tub que està en contacte amb la xocolata.
- 3- **Punta extrusora:** és l'encarregada de dipositar la xocolata de forma que es controli la quantitat a depositar i el lloc on es diposita. Necessita d'un sistema que escalfi l'extrusor, per tal de no taponar la seva sortida. El moviment de l'extrusor és idèntic al sistema que s'utilitza en les impressores BCN3D+ per al seu extrusor. Aquestes impressores utilitzen un sistema de 3 coordenades cartesianes: X, Y, Z, que posicionen el seu capçal extrusor, tenint com a referència el llit d'impressió. El moviment de l'extrusor ve donat per tres motors pas a pas, tots ells controlats per una placa *Arduino*. El moviment d'aquests tres eixos permet un volum imprimible de 252x200x200 mm. Per tal de imprimir una peça, es va reproduint la seva forma capa a capa, des de la part inferior fins a la superior. És important no tenir voladissos ni angles molt grans a l'hora d'imprimir, atès que d'aquesta forma és molt fàcil que s'acabi ensorrant la peça, perquè no s'haurà pogut solidificar la xocolata.
- 4- **Sistema escalfador:** Aquest sistema és el que permet mantenir la temperatura de la xocolata per tal de que segueixi en estat fluid. Per tal de que això succeeixi, es necessita una temperatura d'entre 32°C i 33°C. El sistema escalfador actua en dos punts que són el transport de la xocolata i a la punta extrusora.

Per tal de mantenir la temperatura s'utilitzen dos ventiladors i unes resistències. Els ventiladors estan muntats de forma modular, per tan existeix la possibilitat d'afegir-ne més per tal d'augmentar el cabal total d'aire. Les resistències escalfen l'aire que circula per dintre del sistema. S'utilitzen tres tubs, en el tub interior hi circula la xocolata, en el següent tub aire calent en el mateix sentit que la xocolata, i en el tub més exterior aire calent en sentit contrari. En el següent esquema es mostra com funciona el sistema d'escalfament de la xocolata.



*Fig. 3.2 Esquema dels tubs d'escalfament*

- 5- **Sistema refrigerant. Ventilador de capa:** és un sistema que ajuda a solidificar la xocolata. S'utilitza un sistema de refrigeració d'aire, consisteix en unes plaques Peltier, que refreden l'aire que circula per un tub que acaba rodejant la part final de la punta extrusora. D'aquesta manera la xocolata es solidifica de manera més ràpida.
- 6- **Llit d'impressió:** és la part de la impressora on es va dipositant la xocolata al sortir de l'extrusor. El llit que s'utilitza és el mateix que el de la BCN3D+. Es podria aprofitar el sistema refrigerant per tal de que la temperatura del llit sigui més baixa. Això ajudaria a que la xocolata es refredés més fàcilment i s'evitarien problemes de la impressió com podria ser l'ensorrament de la peça.

## 3.2. Estudi d'alternatives al mercat

Per tal de poder impulsar el fluid cap a la punta extrusora, existeixen diversos mètodes. Tot seguit es farà un repàs de les diferents tecnologies que es poden trobar actualment al mercat o en desenvolupament.

### 3.2.1. Sistemes de xeringa

Aquesta primera alternativa consisteix en un capçal extrusor que disposa d'un motor pas a pas que a través d'una transmissió pinyó cremallera empeny l'èmbol de la xeringa

prèviament carregada amb la pasta a imprimir. Al avançar l'èmbol es va dipositant un filament de material amb la forma desitjada sobre el llit d'impressió. El problema principal que té aquesta alternativa és que la impressió s'ha de realitzar de forma discreta, ja que per carregar de nou xocolata a la xeringa, aquesta s'ha de desmuntar. Tot i que té l'avantatge de que la xeringa es pot netejar fàcilment i que si es necessitessin recanvis, són barats i fàcils d'aconseguir.

Un exemple d'aquest sistema és el desenvolupat a la *Fundació CIM* que es troba actualment al mercat. Consisteix d'un adaptador del *paste extruder*, que pot ser utilitzat a les impressores BCN3D+.

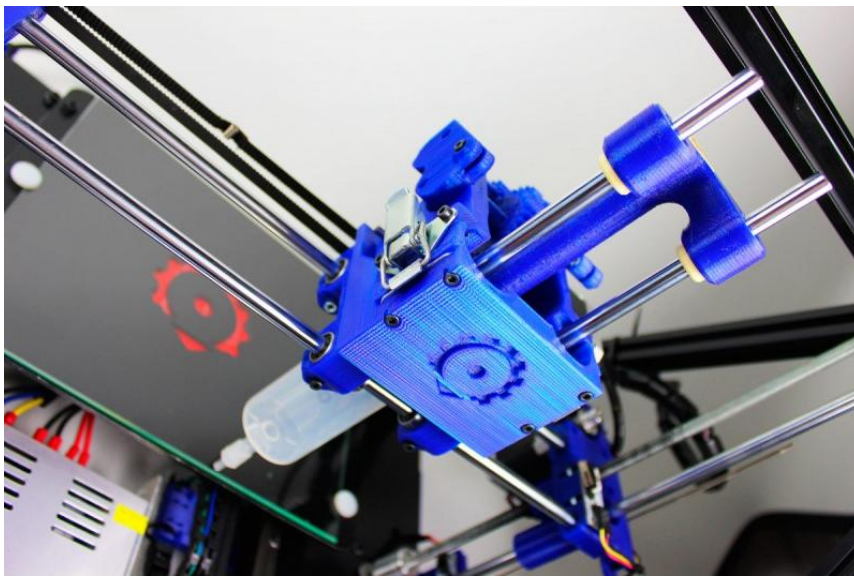


Fig. 3.3 Paste extruder. Font: Fundació CIM

Un altre exemple és el de la impressora Zmorph [2], que és una impressora 3D, amb diversos capçals adaptables per tal de realitzar diverses funcions: impressió 3D amb plàstics, capacitat de doble capçal extrusor, tall amb làser, gravats amb làser, entre altres. D'aquesta varietat de capçals que ofereix, n'hi ha dues que són adients per a realitzar impressions de peces amb xocolata. La primera opció és el capçal que es mostra a la Figura 3.4, i la segona opció es comentarà a l'apartat 3.2.2.



*Fig. 3.4 Capçal per a impressió de pastes. Font: Zmorph*

Finalment un últim exemple que utilitza aquesta tecnologia de xeringa és el de les impressores Cosmed 333 [3], que utilitza unes xeringues d'acer inoxidable com a extrusor lineal. Tenen capçals intercanviables per tal de poder variar el diàmetre d'extrusió. El punt més important d'aquesta màquina és que les xeringues que s'utilitzen poden fer servir un sistema de calefacció. Aprofitant l'espai lateral que hi ha a la màquina es poden mantenir tres xeringues més a part de la que s'està utilitzant per extrudir, cada una amb el sistema de calefacció independent.

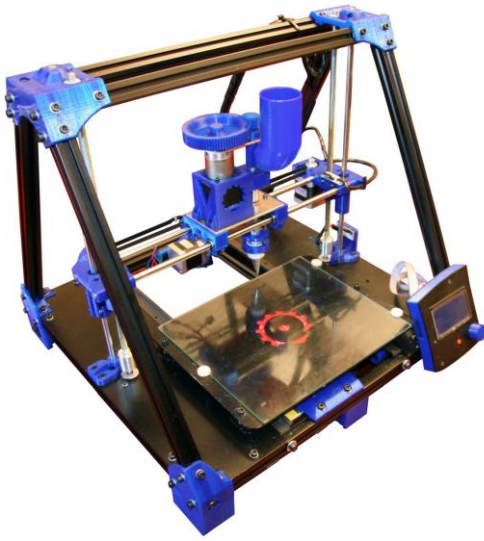
### **3.2.2. Sistemes de cargol**

La segona alternativa es tracta d'una versió reduïda d'una extrusora de plàstic. Aquest sistema consisteix en alimentar el material a través d'una tremuja fins que entri en contacte amb el vis extrusor. Un cop al vis extrusor començarà un procés d'escalfament i de compressió fins que s'arribi a un estat adequat per a extrudir el material.

Un dels punts a favor d'utilitzar aquest mètode és que es poden fer impressions de forma continua, ja que es pot anar afegint més material mentre es va realitzant la impressió.

Per altra banda s'hi troba un punt negatiu, que és la dificultat d'esterilitzar el vis extrusor, que fa que s'encareixi el producte final. És important que estigui esterilitzat ja que la xocolata és un aliment i ha de seguir certa normativa específica.

Un primer exemple d'aquest sistema és el desenvolupat a la *Fundació CIM*, que es va dur a terme pel Guillem Tena durant la realització del seu projecte final de carrera. Aquest producte és adaptable a les impressores BCN3D. També es pot trobar un altre capçal desenvolupat per Zmorph, adaptable a les seves impressores 3D. Els dos sistemes consisteixen en un cargol que realitza la funció de vis extrusor.



*Fig. 3.5 Impressora BCN3D+ amb el mecanisme incorporat*



*Fig. 3.6 Capçal extrusor. Font: Zmorph*

### 3.2.3. Sistemes de bomba

Aquest és el cas que es tractarà en aquest projecte. Consisteix en afegir-hi el material amb que es vol imprimir en estat de fluid en un dipòsit, i utilitzar una bomba per tal de transportar aquest material fins a la punta extrusora.

Aquesta opció permet posar la bomba fora del carro d'impressió, això permet alliberar espai al carro i augmentar la seva velocitat d'impressió perquè es disposarà de menys massa en el carro.

Un dels punts a favor que té aquest sistema és que al utilitzar un dipòsit es pot disposar d'una impressió pràcticament continua. Al haver de transportar el material i mantenir-lo en un dipòsit serà necessari un sistema per tal de mantenir la temperatura. Aquest sistema d'escalfament haurà d'actuar tant al dipòsit com als tubs de transport per evitar que es solidifiqui el material.

Per tal de que el material a extrudir estigui només en contacte amb el tub, s'ha pensat en una bomba peristàltica. D'aquesta manera el tub que circula per l'interior de la bomba podrà ser substituït en cas de necessitat de neteja, i serà un consumible relativament barat comparat amb els casos anteriors.

Es pot trobar un exemple d'aquest tipus de tecnologia en el projecte final de carrera

desenvolupat pel Roger Cardona, que ha estat realitzat a la *Fundació CIM*. És el cas que s'ha comentat a l'apartat 3.1 i sobre el qual es realitzaran les diferents proves.

### 3.3. Limitacions a vèncer i especificacions del nou disseny

Per tal de desenvolupar la bomba peristàltica s'han de determinar primer les limitacions actuals que s'hi troben.

Una de les limitacions es troba en el dipòsit. No permet que la impressora funcioni sense la necessitat d'un operari, atès que és necessari remenar la xocolata que es troba dins el dipòsit per tal que la bomba pugui funcionar correctament. Aleshores una de les millores realitzables seria la implementació d'un agitador i d'un escalfador juntament amb un sistema que controli la temperatura de la xocolata en el dipòsit per d'aquesta manera mantenir la temperatura desitjada de la xocolata d'una forma homogènia en el dipòsit.

Com ja s'ha explicat anteriorment a l'apartat 3.1, el problema principal que té actualment la bomba és la dificultat que es troba per tal de netejar-la. Per tant s'ha d'utilitzar algun sistema que faciliti l'extracció i la introducció del tub, per a realitzar la neteja o substitució del tub, segons escaigui.

Les especificacions necessàries per a dur a terme el desenvolupament de la bomba peristàltica són les següents:

Volum del dipòsit	1,5 l
Cabal d'alimentació	6,25 mm <sup>3</sup> /s
Diàmetre exterior del tub	5 mm
Temperatura del fluid	32,7 °C

Taula 3.1 Especificacions de la bomba peristàltica





## 4. Disseny conceptual

Per tal de seguir amb el projecte RepRap de les màquines a les que anirà incorporada la bomba, es vol seguir amb la filosofia *Open Source*. D'aquesta manera s'intentarà utilitzar en major mesura components normalitzats, barats i de fàcil obtenció. Els materials que s'hagin de fabricar específicament s'imprimiran amb la mateixa BCN3D+.

Abans de començar a explicar les diferents alternatives del disseny conceptual, s'explicarà breument el funcionament d'una bomba peristàltica.

Els elements principals que té el sistema d'alimentació de xocolata són: el dipòsit, la bomba peristàltica, el tub de transport i la punta extrusora. En aquest projecte només es treballarà sobre la bomba peristàltica i el tub que hi circula pel seu interior.

La bomba peristàltica consta de diferents parts que es poden modificar per al seu disseny, variant d'aquesta manera les seves característiques.

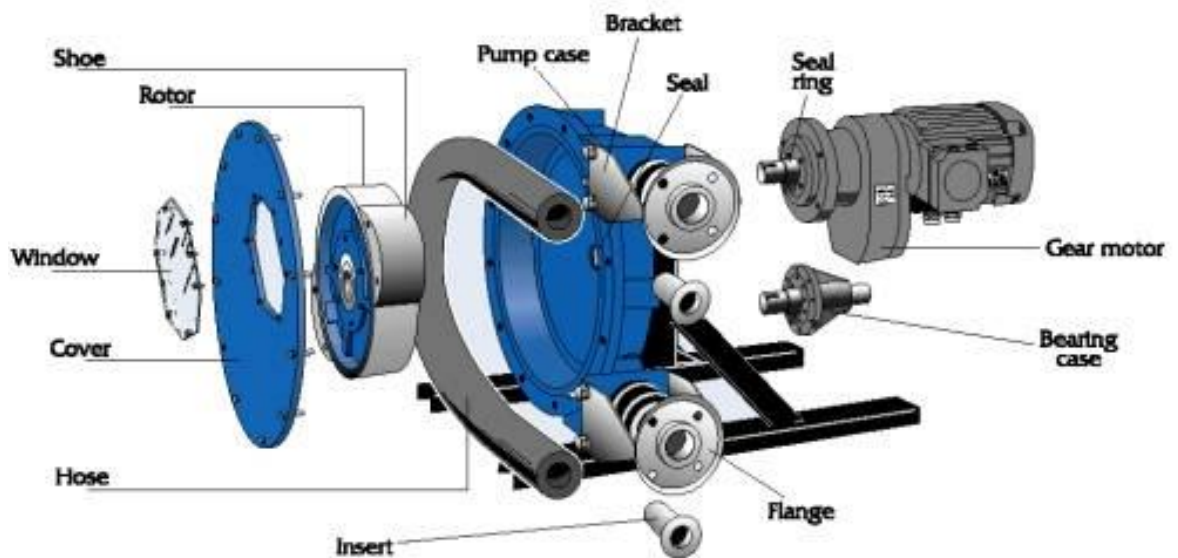


Fig. 4.1 Esquema bomba peristàltica. Font *Enviromental pumping*

Existeixen un seguit de components de les bombes peristàltiques que s'han de descriure per tal de facilitar l'explicació sobre el funcionament de la bomba, a més, permetran la seva modificació, adequant la bomba pel seu ús.

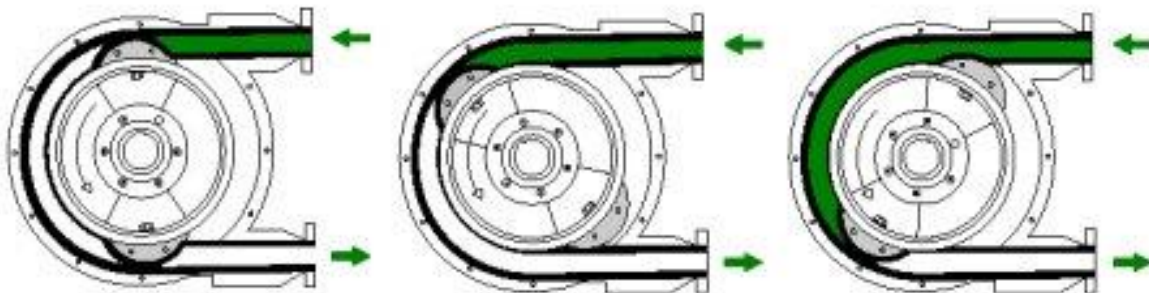
Primer de tot s'utilitza la rotació d'un motor, normalment es tracta d'un motor pas a pas, per tal de transmetre el moviment al rotor. Aquest rotor, consta de sabates o corròns. S'anomenen sabates si són fixes al rotor i corròns si poden rotar sobre ells mateixos.

El seu mecanisme de funcionament [5] consisteix en la rotació d'una peça mòbil a l'interior d'una carcassa, que produeixen unes cavitats on s'introdueix el líquid que es desplaça des de l'entrada de la bomba fins a la zona de descàrrega. Les cavitats es formaran a partir de les sabates o els corròs utilitzats que crearan volums tancats, desplaçant el seu interior des d'un extrem a un altre a partir de la rotació del capçal. A partir del seu funcionament es pot obtenir un control de posició a més d'un ús a velocitats baixes.

Una raó de pes per utilitzar bombes peristàltiques és la seva perfecta estanqueïtat, evitant així que el fluid que circula pel seu interior pugui quedar malmès per algun tipus d'agent extern, com podrien ser els olis per millorar el lliscament dels corròs.

Les característiques funcionals de les bombes de desplaçament positiu [6], on s'inclouen les bombes peristàltiques, són que es poden reduir a un nombre reduït de paràmetres, sent el més important d'aquests paràmetres la seva capacitat volumètrica, és a dir, el volum de fluid que la bomba subministra per revolució en condicions ideals.

Un dels inconvenients que tenen aquest tipus de bombes, és que abans de ser utilitzades s'han d'ençar, això vol dir que, abans de ser utilitzades tot el circuit ha d'estar ple del líquid que hagi de circular-hi.



*Fig. 4.2 Funcionament de la bomba peristàltica. Font: Enviromental pumping*

El tub que s'utilitzi serà el material que marcarà quin tipus de fluid podrà passar pel seu interior, en aquest cas com que el que es tracta és de moure xocolata, s'ha d'utilitzar un tub adequat per a transport d'aliments.

## 4.1. Estudi d'alternatives

Abans de dissenyar els paràmetres de la bomba peristàltica s'han de estudiar diferents alternatives per valorar quina és la millor opció a implementar.

### Ús de corrons o sabates

La primera decisió referent al disseny de l'interior de la bomba peristàltica, és sobre la utilització de sabates o corrons.

Les sabates queden fixes a la part del rotor, s'utilitzen per a bombes d'alta pressió. Les bombes amb sabates desgasten molt més el tub, reduint així la seva vida útil, per reduir aquest desgast s'utilitza lubricant.

En canvi les bombes dissenyades amb corrons, s'utilitzen per a pressions baixes. Permeten unes velocitats de revolució més altes que les dissenyades amb sabates, i s'augmenta la vida útil del tub.



Fig. 4.3 Bomba peristàltica amb sabates.  
Font: Flow control

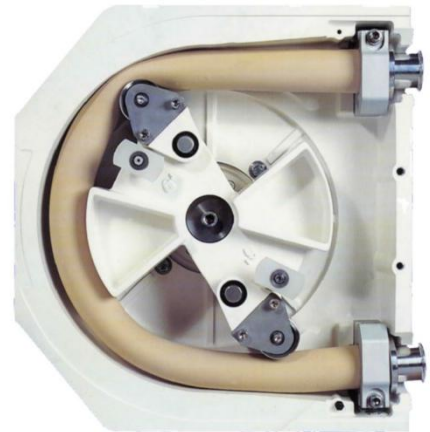


Fig 4.4 Bomba peristàltica amb corrons.  
Font: Southern water

### Número de corrons o sabates

Al mercat es poden trobar bombes peristàltiques amb diferents número de corrons, des de un sol corró fins als que s'hi puguin arribar a encabir en el rotor. El número de corrons afecta a diferents característiques de la bomba:

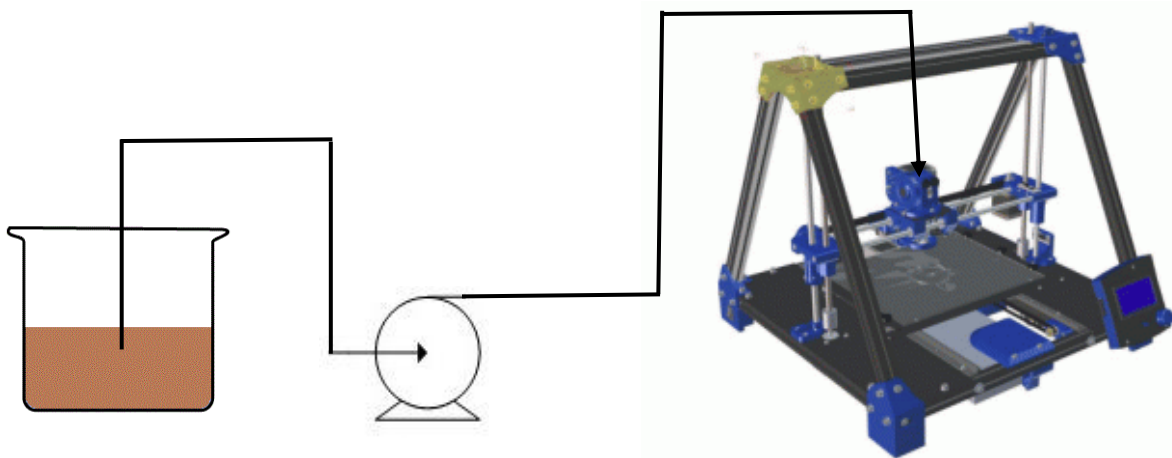
- Cabal mitjà de la bomba: A més corrons, menys cabal.
- Pressió màxima de bombeig: A més corrons, més pressió màxima.
- Variació entre cabals: A més corrons, menys variació entre cabals.
- Diàmetre màxim del corró: A més corrons, menor podrà ser el seu diàmetre.
- Diàmetre mínim del rotor: A més corrons, major el diàmetre del rotor.
- Desgast del tub: El número de corrons afecta directament al desgast del tub.
- Inèrcia i massa: A més corrons, més gran serà la massa i la inèrcia del producte.

## Posició de la bomba

Per tal de determinar els paràmetres de la bomba, és important saber la seva posició respecte el dipòsit i respecte el capçal extrusor.

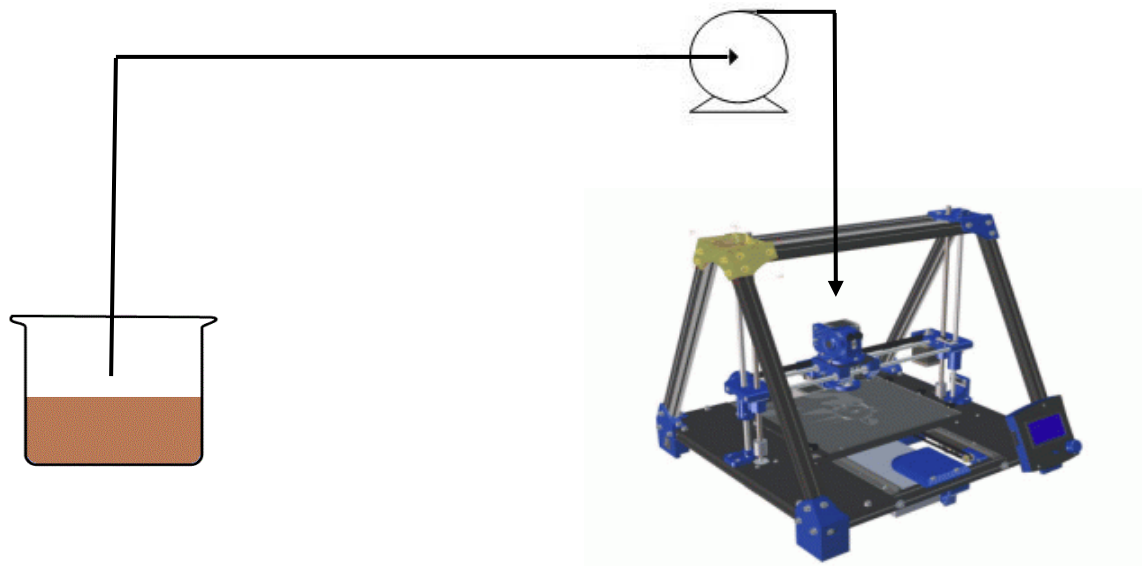
A continuació es descriuran tres possibles opcions per la posició de la bomba:

La primera opció és mantenir el mateix disseny que hi ha actualment, que consisteix en tenir el dipòsit sobre un suport damunt de la taula, i la bomba damunt la taula. El tub d'alimentació agafa la xocolata des de la part superior del dipòsit. Aquesta opció és potser la més senzilla, però també ofereix més facilitat a l'hora de desmuntar la bomba per tal de netejar el tub.



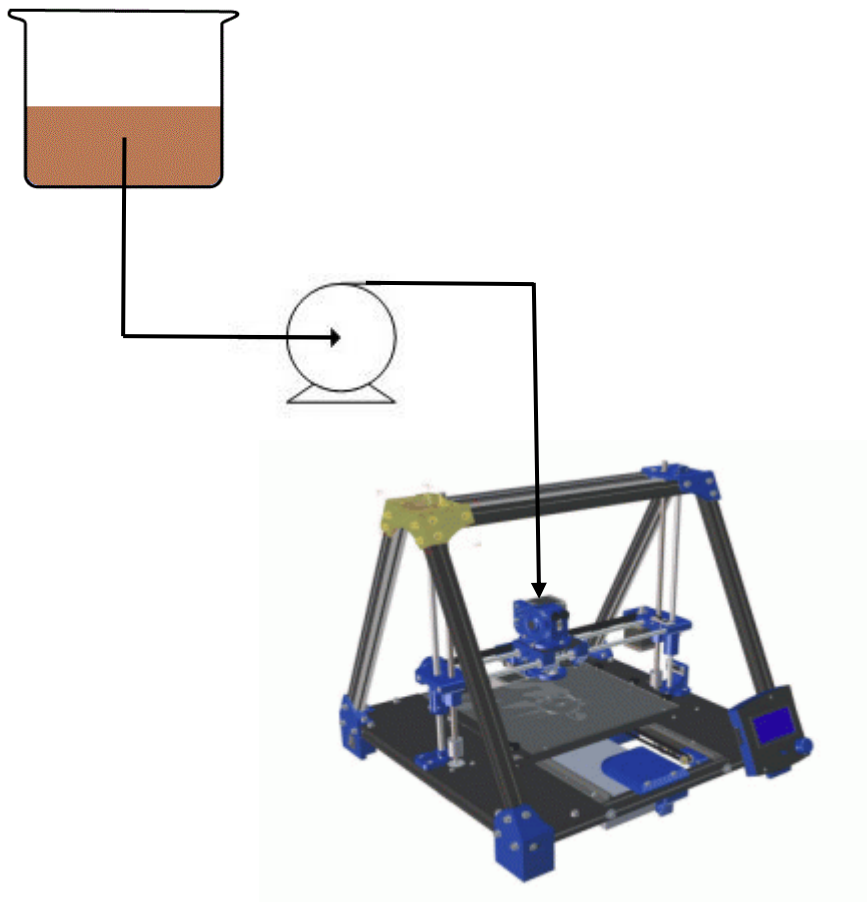
*Fig. 4.5 Esquema de la primera disposició*

La segona opció consisteix en modificar la posició de la bomba respecte l'anterior opció. En aquest cas es proposa col·locar la bomba damunt de la impressora, el tub haurà de tenir la llargada suficient per tal de que el capçal es pugui moure lliurement sense restriccions. La xocolata tindrà més facilitat a l'hora de fluir un cop passada la bomba, perquè es podrà compensar la força de fricció que aparegui a les parets del tub amb la força gravetat.



*Fig. 4.6 Esquema de la segona disposició*

La darrera opció consisteix en col·locar el dipòsit a dalt de tot, seguidament de la bomba i finalment el capçal extrusor. L'alimentació de la bomba a partir del dipòsit, es podria fer des de la part inferior d'aquest o des de la superior, com en els altres casos. Es poden trobar certs inconvenients si es vol alimentar des de la part inferior del dipòsit, primer de tot, s'hauria de modificar el dipòsit existent, o utilitzar-ne un de nou. També hi haurà més complicació al desmuntar la bomba per la neteja del tub. Independentment des d'on s'alimenti, s'hauria de dissenyar un suport per tal de mantenir el dipòsit sobre la impressora.

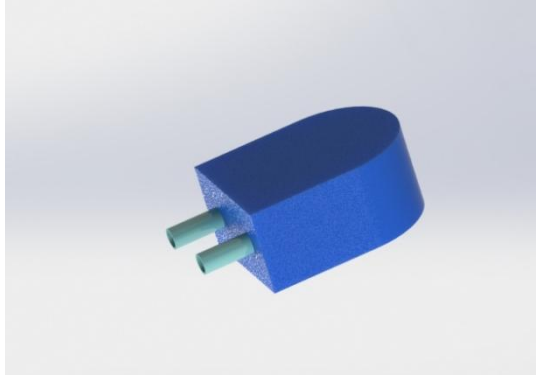


*Fig. 4.7 Esquema de la tercera disposició*

### **Obertura per a neteja**

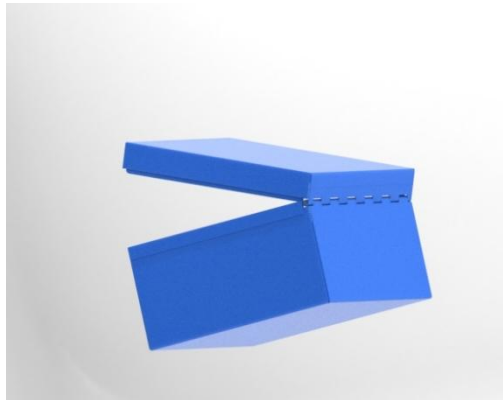
Es poden trobar diferents alternatives per tal de extreure el tub amb la intenció de fer la seva neteja o substitució. A continuació es mostraran un seguit d'alternatives per aconseguir aquest objectiu. Aquestes alternatives es representen amb diferents imatges que utilitzen un angle de treball de  $180^\circ$ , aquesta representació és merament representativa, ja que s'ha agafat com a exemple l'angle de treball que se'ls hi dóna majoritàriament a les bombes peristàltiques que es troben al mercat.

La primera d'aquestes alternatives consisteix en mantenir la carcassa de la bomba tancada. Per posar o treure el tub, s'haurà d'empènyer o estirar el tub depenent del que es vulgui fer. Per tal de realitzar aquestes accions es pot utilitzar el mateix moviment de rotació de la bomba per tal de facilitar el moviment del tub el màxim que es pugui. Té certs inconvenients com la dificultat que hi pot haver a l'hora de començar a introduir el tub dins la bomba, o que hi podrien quedar restes de xocolata a l'interior de la bomba.



*Fig. 4.8 Renderitzat de la bomba tancada*

Una altre alternativa ve determinada per la utilització d'una frontissa i d'un ganxo. D'aquesta manera es tindrà certa facilitat a l'efectuar l'obertura de la bomba, i la posterior extracció del tub. En aquest últim cas també es podria utilitzar un tancament per pestell de palanca en lloc del que s'ha esmentat a partir d'un ganxo. Amb aquest tancament, serà més difícil que la carcassa de la bomba s'obris accidentalment, tot i que el cost que tindrà la bomba serà també més elevat.



*Fig. 4.9 Renderitzat del tancament per frontissa*

També és possible tancar la bomba a partir de passadors. D'aquesta manera l'extracció del tub pot esdevenir una tasca més tediosa, que en els altres, ja que s'haurien de retirar els diferents passadors, i un cop canviat el tub tornar-los a col·locar. Tot i aquest inconvenient, s'assegura el tancament de la bomba i que no hi haurà possibilitat de que s'obri mentre la bomba estigui en funcionament.

Una última opció és realitzar un disseny on no es necessiti tancar la bomba, és a dir, un disseny obert, d'aquesta manera es tindrà una millor visió del que hi succeeix a l'interior de



la bomba, i es té l'oportunitat de solucionar inconvenients d'importància menor, com una mala col·locació del tub, quan la bomba està en funcionament.

## 4.2. Selecció de proposta de disseny conceptual

Un cop vistes les diferents alternatives, i els avantatges i inconvenients de cadascuna, es decideixen les següents opcions.

En el cas de la utilització de corrons o sabates, es decideix utilitzar corrons atès que no seran necessàries pressions molt altes, i a més, s'allargarà la vida útil dels tubs utilitzats, perquè hi haurà menys pressió.

El número de corrons que es pretén utilitzar serà de com a mínim tres, atès que es garanteixi l'estanqueïtat entre corrons, ja que es creu que solament amb només un o dos corrons aquesta estanqueïtat serà molt més difícil de garantir. Aquest punt es comentarà amb més extensió en el capítol següent.

La posició de la bomba que s'ha cregut més adequada, és la segona opció esmentada, és a dir, col·locar la bomba sobre la impressora 3D, i el dipòsit posat sobre la taula. D'aquesta manera s'hauran de fer poques modificacions a la impressora, ja que es reaprofitarà el dipòsit existent. Només s'haurà de crear un suport que permeti a la bomba peristàltica mantenir-se sobre la impressora, com el que existeix actualment a les impressores BCN3D+ per a les bobines de plàstic. A part d'això també es podrà mantenir el dipòsit a la temperatura desitjada utilitzant qualsevol mètode d'escalfament adequat per al dipòsit utilitzat.

Per a l'apartat d'obertura, es creu que el més convenient és utilitzar el model obert, ja que a part d'abaratir el cost del producte, perquè s'haurà d'imprimir menys material, es podrà observar si hi ha algun problema en la utilització de la bomba, com pugui ser una mala col·locació del tub, o que algun dels corrons no comprimeixi correctament el tub contra la paret de la bomba.



## 5. Disseny de detall

### 5.1. Paràmetres de disseny

Per al correcte disseny de la bomba peristàltica s'han de determinar certs paràmetres prèviament abans de començar amb els càlculs del disseny. Es partirà dels coneixements que es tenen previs de la bomba peristàltica utilitzada actualment, per tal de no partir de zero.

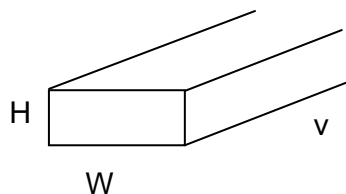
#### Cabal

El primer d'aquests paràmetres és el cabal necessari per a l'extrusor. Per a determinar el cabal, s'utilitzen un rang d'especificacions més habituals amb que es fa servir una impressora de les característiques de les BCN3D+. Aquestes especificacions són: l'alçada de capa, l'amplada de capa i la velocitat d'impressió.

Característiques del cabal	Valor utilitzat habitualment	Valor màxim a utilitzar
Alçada de capa (H)	0,25 mm	0,75 mm
Amplada de capa (W)	0,5 mm	1,2 mm
Velocitat d'impressió (v)	50 mm/s	50 mm/s

Taula 5.1 Paràmetres característics del cabal

Considerant que la traça de material que la impressora deixa és un prisma rectangular, es pot calcular el cabal necessari amb aquestes característiques. Per tant obtindrem el cabal necessari a l'extrusor realitzant una simple operació:



$$Q = H \cdot W \cdot v \quad \text{Eq. (5.1.1)}$$

Fig. 5.1 Esquema càlcul del cabal

El rang del cabal necessari estarà comprès entre 6,25 [mm<sup>3</sup>/s] i 45 [mm<sup>3</sup>/s].

## Diàmetre del tub

El segon paràmetre important a tenir en compte és el diàmetre del tub, ja que a partir d'aquest es determinarà el volum de xocolata que hi circularà a través seu per a cada revolució. És molt important també el material amb el que està fet el tub, ja que ha de ser un material adequat per a poder estar en contacte amb aliments. Per aquesta raó s'han buscat alternatives que siguin o bé de niló, tefló o PVC adequat per a aliments, ja que aquests tubs amb aquests tipus de materials són fàcilment adquiribles i són adequats per al contacte amb aliments. En el prototip del Roger Cardona s'han fet diverses proves amb tubs de 6 [mm] i 3 [mm] de diàmetre interior, i s'ha considerat que el tub de diàmetre 3 [mm] ofereix uns resultats més bons.

El tub que s'ha trobat per poder fer les proves amb el nou disseny de la bomba, és un tub de PVC adequat per a estar en contacte amb aliments. Es tracta d'un tub que ofereix una dificultat considerable a l'hora de comprimir-se. Per tant, s'ha buscat com a alternativa un tub de silicona i un altre tub de làtex, l'inconvenient que ofereixen aquests tubs és la inadequació per a ser utilitzats amb aliments, però per a realitzar proves experimentals es creu convenient utilitzar aquests tubs, tenint present que s'haurà de fer una altra cerca per a un tub adequat per al prototip final. Tots tres tubs tenen un diàmetre interior de 3 [mm] i un diàmetre exterior de 5 [mm].

## Diàmetre de la bomba

El diàmetre del capçal de la bomba utilitzat en el prototip del Roger Cardona és de 30 [mm], primerament es va intentar fer la bomba amb aquest mateix diàmetre, per a que el motor pogués mantenir un a velocitat de revolució més elevada. però per poder-hi col·locar bé el motor, s'ha cregut convenient, augmentar el diàmetre exterior de la bomba fins a 60 [mm]. Un cop determinat el diàmetre exterior, i tenint en compte el diàmetre del tub, s'utilitzarà un diàmetre del capçal de 51 [mm], així hi haurà espai suficient per a que s'hi puguin col·locar tant els corrons com el tub entre la paret exterior i el capçal de la bomba. Posteriorment s'hauran de col·locar els corrons per tal de que es creï una estanqueïtat entre dos corrons consecutius.

En l'apartat 5.2 es faran els càlculs necessaris per tal de calcular la velocitat de gir de la bomba.

## Angle de treball

L'angle de treball utilitzat serà de 360°, d'aquesta manera s'aprofitarà completament el contorn de la bomba. Per tal d'implementar que la bomba funcioni durant tota una sola volta, s'ha utilitzat una ranura en forma d'espiral, per on circularà el tub, d'aquesta manera empenyent el tub per l'entrada, i aprofitant la ranura serà possible extreure el tub per la

sortida. Per aquest angle de treball de  $360^\circ$  es podria utilitzar un sol corró, però per tal de reduir el pols es creu necessari augmentar el nombre de corrons.

### Número de corrons

Per tenir un cabal amb menys fluctuacions entre dues entrades de fluid, és adequat usar més de tres corrons, com s'ha comentat anteriorment a l'apartat 4.2, i d'aquesta manera obtenir un cabal més estable. Per tant, es creu que utilitzant quatre corrons en lloc de un de sol, es crearà un cabal més estable, a més d'augmentar la pressió màxima de bombeig.

### Diàmetre dels corrons

Per tal de moure el fluid que circula dins el tub s'utilitzaran quatre corrons de 15 [mm] de diàmetre cada un. D'aquesta manera, i col·locant el centre dels corrons a una distància de 20,5 [mm] respecte el centre de la bomba, es té el suficient espai per a que hi circuli el tub.

El motor utilitzat per a moure el capçal de la bomba, és un motor pas a pas del tipus NEMA 17, que és el mateix tipus de motor que s'utilitza per a moure els eixos de la impressora. Per tal de controlar-lo es farà servir un microcontrolador Arduino.

En la següent taula es pot trobar el resum dels paràmetres de disseny.

Diàmetre exterior del tub, $\varnothing_{Te}$	5 mm
Diàmetre interior del tub, $\varnothing_{Ti}$	3 mm
Diàmetre de la paret de la bomba, $\varnothing_{bomba}$	60 mm
Diàmetre de l'espiral, $\varnothing_{espiral}$	56 mm
Diàmetre del forat de l'espiral, $\varnothing_{forat}$	6 mm
Pas de rosca de l'espiral, p	10 mm
Diàmetre del capçal, $\varnothing_{capçal}$	51 mm
Angle de treball, $\alpha$	$360^\circ$
Número de corrons	4
Diàmetre dels corrons	15 mm

Taula 5.2 Paràmetres de disseny

## 5.2. Càlculs

Per tal de saber si el disseny de la bomba peristàltica és adequat, es faran els càlculs necessaris per a comprovar-ho.

### Determinació de la velocitat de rotació del motor

A partir de les opcions escollides a l'apartat anterior es calcularà la velocitat de gir del motor.

Tenint en compte que el diàmetre de l'espiral de la bomba és de 56 [mm], i els diàmetres exterior i interior del tub són de 5 [mm] i de 3 [mm] respectivament, i suposant que a cada revolució de la bomba s'impulsa una sola vegada el volum que hi passa pel seu interior, i suposant, també que el volum que restringeix els corròns és negligible, tenim el següent cas:

Primer de tot s'ha de determinar el que s'anomenarà diàmetre nominal, que és on es troba el centre del diàmetre interior del tub.

$$\varnothing_{nom} = \varnothing_{espiral} + \varnothing_{forat} - \varnothing_{Ti} \quad (\text{Eq. 5.2.1})$$

On:

$\varnothing_{espiral}$ : Diàmetre de l'espiral.

$\varnothing_{forat}$ : Gruix del forat de l'espiral.

$\varnothing_{Ti}$ : Diàmetre interior del tub.

Un cop determinat el diàmetre nominal que és de  $\varnothing_{nom}$  57 [mm]. En aquest punt, per tal d'obtenir el volum total empès en una sola revolució del motor, s'haurà de calcular prèviament la longitud del tub que circula per l'interior de la bomba. Per calcular la longitud de l'espiral, com que es té el diàmetre de l'espiral i el seu pas de rosca, es pot utilitzar el teorema de Pitàgores per tal d'obtenir la longitud del tub que passi per l'interior de la bomba:

$$l = \sqrt{(\pi \cdot \varnothing_{nom})^2 + p^2} \quad (\text{Eq. 5.2.2})$$

On:

$\varnothing_{nom}$ : Diàmetre nominal .

p: Pas de rosca de l'espiral.

Un cop obtinguda la longitud,  $l = 179,35$  [mm], es pot obtenir el volum total que s'empeny en una sola revolució:

$$V = \frac{\varnothing_{Ti}^2 \cdot \pi}{4} \cdot l \quad (\text{Eq. 5.2.3})$$

On:

$\varnothing_{Ti}$ . Diàmetre interior del tub.

$l$ : Longitud de l'espiral.

Aquest volum és de  $V = 1267,75$  [mm<sup>3</sup>], és el volum de fluid que es desplaça en una sola revolució. Per tant, un cop obtingut el volum desplaçat per cada revolució del capçal de la bomba i tenint en compte els cabals lldar que s'han trobat anteriorment, es pot obtenir la velocitat de gir del motor fàcilment:

$$\omega_{m\grave{a}x} = \frac{Q_{m\grave{a}x}}{V_{rev}} \quad \omega_{m\grave{i}n} = \frac{Q_{m\grave{i}n}}{V_{rev}} \quad (\text{Eq. 5.2.4})$$

S'obtenen uns valors de  $\omega_{m\grave{a}x} = 2,13$  [min<sup>-1</sup>] i de  $\omega_{m\grave{i}n} = 0,30$  [min<sup>-1</sup>]

Per resumir dels càlculs corresponents a la determinació de la velocitat de gir del motor es té aquesta taula resum.

Diàmetre nominal $\varnothing_{nom}$	57 mm
Longitud de l'espiral, $l$	179,35 mm
Volum empès per revolució, $V$	1267,75 mm <sup>3</sup> /rev
Velocitat de rotació màxima, $\omega_{m\grave{a}x}$	2,13 min <sup>-1</sup>
Velocitat de rotació mínima, $\omega_{m\grave{i}n}$	0,30 min <sup>-1</sup>

Taula 5.3 Resultats dels càlculs referents al cabal

La velocitat de rotació de la bomba és orientativa, ja que durant la utilització de la bomba s'hi trobaran pèrdues de pressió que no seran possibles de calcular, ja que la xocolata és un fluid no newtonià, i això dificulta molt la seva determinació. Atès a aquests fets, es proposa solucionar aquest fet duent a terme proves experimentals un cop el prototip de la bomba peristàltica s'hagi realitzat.

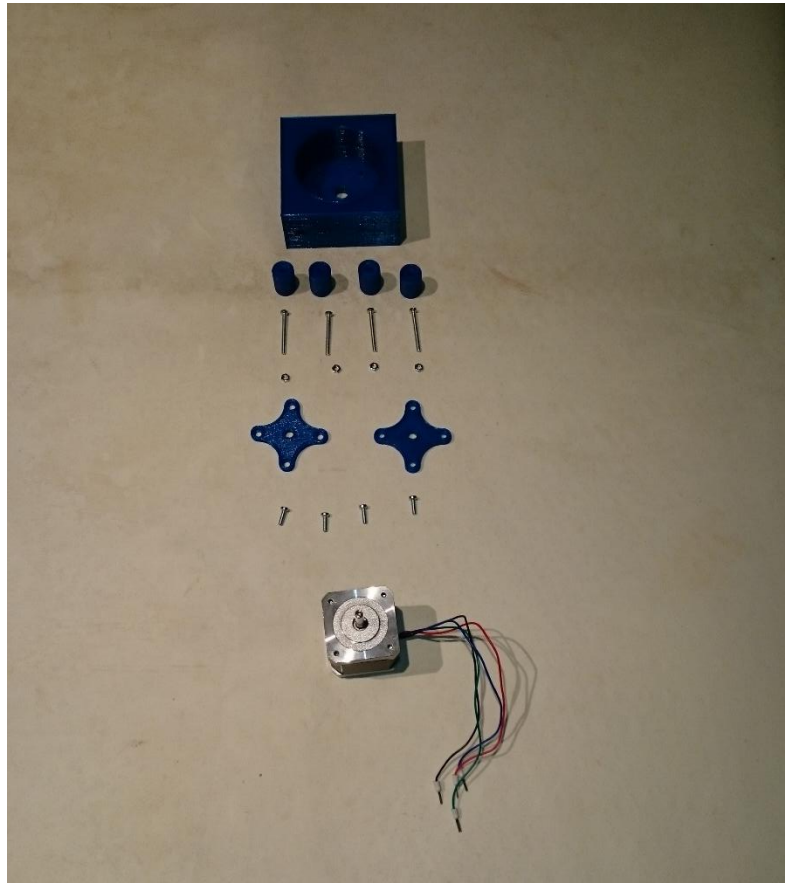
### **Càlculs estimatius per a la pressió**

La xocolata és un fluid no newtonià i viscos, per tant, no es pot aplicar el principi de Bernoulli. Sense tenir en compte la dificultat que comporta el no poder utilitzar el principi de Bernoulli, el problema principal que ofereix la xocolata a l'hora de fer càlculs estimatius, és la dificultat de determinar les seves propietats reològiques. Aquest fet és degut a que cada vegada que es desfà la xocolata per tal de passar del seu estat sòlid a un estat fluid, s'obtenen variacions de les seves propietats reològiques, això és degut a dos fets: el primer d'aquests fets és que les propietats relatives a la xocolata depenen de la seva composició, és a dir, de la proporció de cacau i de la quantitat de mantega de cacau, entre altres elements, això fa que cada tipus de xocolata tindrà diferents proporcions; i el segon fet és que depenen de la temperatura a la que s'arribi al moment de desfer la xocolata es formaran uns certs cristalls o uns altres. La diferent formació d'aquests cristalls influiran enormement a les característiques reològiques.

És per aquests motius que no s'han dut a terme els càlculs referents a la pressió necessària que ha d'aportar la bomba, ni les diferents pèrdues de càrrega que aquesta tingui. És per això que es duran a terme proves experimentals amb l'objectiu de solucionar aquesta manca de càlculs.

### **5.3. Solució adoptada**

En aquest apartat es vol donar a conèixer els diferents elements que s'han utilitzat per a la confecció d'aquest primer prototip de la bomba peristàtica. Es vol introduir amb imatges d'abans i de després de l'assemblatge per tal de que el lector es pugui fer una idea més clara de com és el prototip final.



*Fig. 5.2 Vista dels components del prototip*

En la Figura 5.2 es poden observar els components del prototip desmuntat. Totes les peces s'han fet amb una impressora BCN3D+. S'ha optat per un disseny senzill perquè l'usuari tingui més facilitat a l'hora de poder-lo muntar i desmuntar, i tenint en compte que es faciliti també la possibilitat d'afegir-hi millores al primer disseny per a adaptar-ho a nous usos. A més només s'han dissenyat tres peces diferents, facilitant, també la possibilitat d'obtenir peces de recanvi. La massa del conjunt de la bomba amb el motor és aproximadament de 450 [g], aquesta massa no hauria d'afectar al carro, ja que la bomba no es mourà amb el carro de l'extrusor, perquè en principi quedarà fixada a la part superior de la impressora mitjançant un suport.

Per tal de fixar el motor a la base de la bomba s'han utilitzat quatre cargols de M3 de 10 [mm] de llargada. La base de la bomba s'ha dissenyat prèviament amb els quatre forats per a introduir-hi els cargols, també s'hi ha afegit un forat més ample per tal de que no sobresurti el cap del cargol.

Per unir els dos extrems de la bomba amb els corròns, amb la finalitat de formar el capçal de la bomba, s'han fixat també amb cargols de M3, però en aquest cas han estat de 30 [mm] de llargada. En aquest cas també s'han dissenyat les peces amb els forats ja fets, per evitar el

possible trencament de les peces al fer-hi forats. Com en el cas de la base de la bomba també s'ha deixat espai per als caps dels cargols, amb la intenció d'evitar el contacte d'aquests amb la base de la bomba.

Per a poder controlar el motor pas a pas, s'ha utilitzat la placa *Arduino Uno rev 3*, i el *shield* corresponent per a controlar motors: *Arduino Motor Shield*. Els shields adequats per a Arduino tenen la facilitat de poder-se col·locar damunt la placa Arduino. Es connecta a un ordinador, mitjançant un cable USB, que farà la funció de font d'alimentació i a més permet transmetre el programari utilitzat.

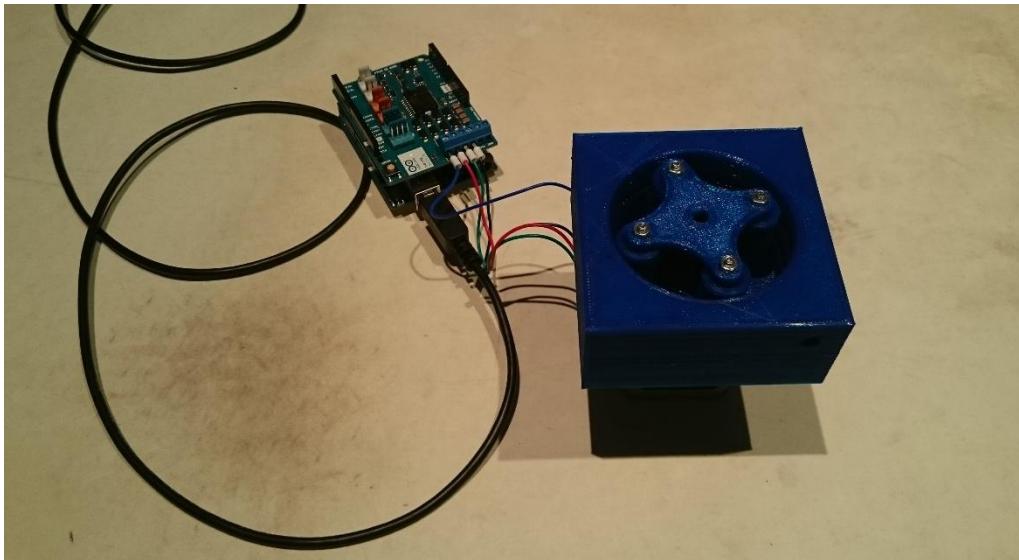


Fig. 5.3 Prototip muntat amb placa Arduino incorporada

## 5.4. Programari utilitzat

S'utilitza un programa dissenyat per a *Arduino* [7] per tal de controlar la velocitat de gir del motor. El programa s'ha modificat respecte al que s'havia trobat prèviament per tal d'adaptar la velocitat de gir del motor, amb la velocitat necessitada per a empènyer la quantitat de fluid adequada.

El programa que finalment s'ha utilitzat és el següent:



```
int delaylength = 20;

void setup() {

    //estableix els pins de la direcció del motor
    pinMode(12, OUTPUT);
    pinMode(13, OUTPUT);

    //estableix els pins del fre del motor
    pinMode(9, OUTPUT); //fre (anular) CH A
    pinMode(8, OUTPUT); //fre (anular) CH B

}

void loop() {

    digitalWrite(9, LOW); //activar CH A
    digitalWrite(8, HIGH); //anular CH B

    digitalWrite(12, HIGH); //defineix direcció CH A
    analogWrite(3, 255); //Mou CH A

    delay(delaylength);

    digitalWrite(9, HIGH); //anula CH A
    digitalWrite(8, LOW); //activa CH B

    digitalWrite(13, LOW); //defineix direcció CH B
    analogWrite(11, 255); //Mou CH B

    delay(delaylength);

    digitalWrite(9, LOW); //activa CH A
    digitalWrite(8, HIGH); //desactiva CH B

    digitalWrite(12, LOW); //defineix direcció CH A
    analogWrite(3, 255); //Mou CH A

    delay(delaylength);

    digitalWrite(9, HIGH); //desactiva CH A
    digitalWrite(8, LOW); //activa CH B

    digitalWrite(13, HIGH); //defineix direcció CH B
    analogWrite(11, 255); //Mou CH B

    delay(delaylength);

}
```

Fig. 5.4 Programa utilitzat per a controlar el motor



## 6. Proves experimentals

S'han dut a terme diverses proves per comprovar el correcte funcionament del primer prototip. Aquestes proves s'han dut a terme amb aigua en lloc de xocolata, ja que es volia comprovar el funcionament de la bomba d'una forma relativament ràpida. D'aquesta manera s'han pogut reutilitzar tubs per a fer les mateixes proves, i s'ha pogut invertir el temps de preparar la xocolata desfeta en realitzar més proves.

Un cop s'ha tingut la bomba muntada i s'ha fet funcionar per primera vegada sense el tub, només el capçal amb els corrons, s'ha observat que el motor no transmetia bé el parell al capçal de la bomba. Aquest fet ve donat perquè al dissenyar-se l'entalla del capçal de la bomba s'havien deixat unes toleràncies massa grans, i per tant l'eix del motor no aportava el parell necessari. Per solucionar aquest inconvenient s'ha decidit reutilitzar una peça de recanvi que oferia les dimensions correctes per a l'entalla del motor, enlloc de tornar a imprimir una altra peça de nou. S'han unit l'extrem del capçal de la bomba amb aquesta peça de recanvi mitjançant una cinta de suport adhesiva de doble cara. D'aquesta manera es transmet el parell del motor al capçal de la bomba.



*Fig. 6.1 Detall del capçal amb la peça de recanvi*

Un cop solucionat aquest primer problema, s'han començat a realitzar proves amb els diferents tubs. S'han utilitzat tres tubs amb materials diferents, PVC, silicona i làtex. Tots tres amb els mateixos diàmetres interiors i exteriors, 3 [mm] i 5 [mm] respectivament. El tub de PVC utilitzat és adequat per a aliments, però és massa rígid i no permet que es comprimeixin les parets de forma adequada, s'ha intentat solucionar-ho escalfant el tub i allargant-lo per tal de poder fer la paret més prima i facilitar així la seva compressió, però no s'ha pogut aprimar prou la paret del tub. Els altres dos tubs no són adequats per a aliments, però s'ha decidit realitzar-hi les proves perquè és molt més fàcil poder comprimir les seves parets, i se suposa que es podran trobar tubs adequats per a fer servir amb aliments amb

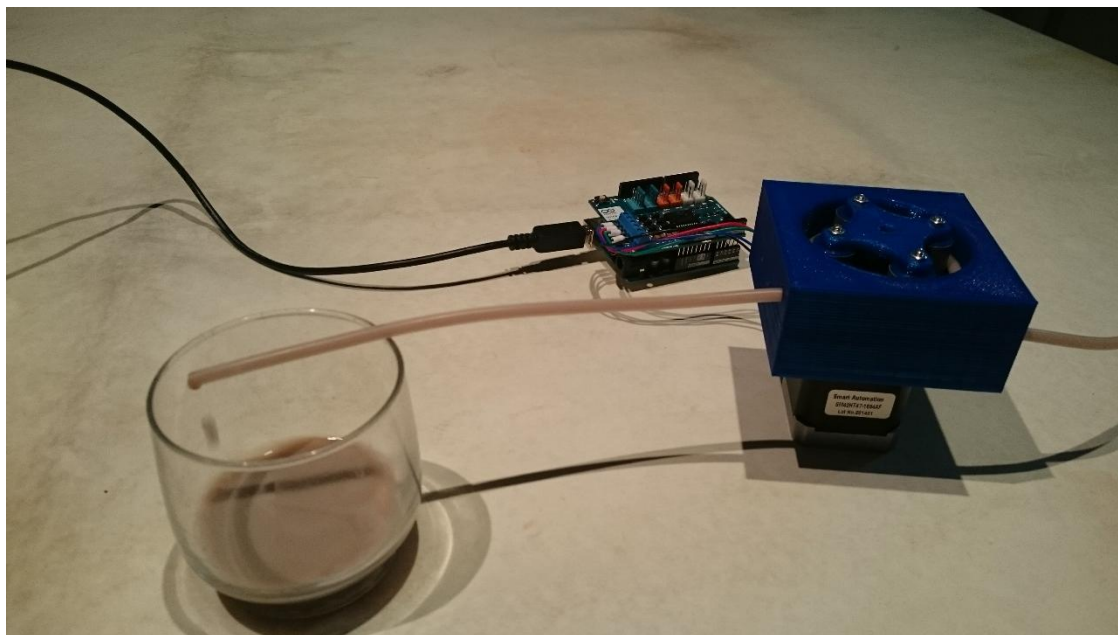
les mateixes propietats o similars que els tubs de silicona i de làtex.

Un cop s'ha col·locat el tub i s'ha fet anar el motor, s'ha observat que el motor no girava correctament, quedava travat, aquest problema ha vingut donat perquè hi havia massa fregament entre les diferents parts de la bomba peristàltica, oferint així un parell d'arrencada massa elevat per tal de que el prototip pogués funcionar correctament. Per solucionar aquest inconvenient s'han fet dues proves diferents.

Primer de tot s'han anat provant els diferents ports USB de l'ordinador amb el que s'estaven realitzant les proves, i s'ha pogut comprovar que depenent del port USB utilitzat el corrent transmès variava, per tant el motor rebia més parell, però no s'arribava al parell adequat. Seguidament s'ha intentat connectar l'USB a partir d'un transformador d'un carregador de mòbil de càrrega ràpida, de voltatge 5 [V] de sortida i de corrent 2 [A], en aquest cas el motor no avançava degut al parell d'arrencada, si se l'ajudava a avançar en l'instant inicial funcionava a batzegades.

La segona prova que s'ha realitzat, ha estat afegir un petit tros de tub entre la peça de recanvi utilitzada per a transmetre el parell i l'extrem superior del capçal de la bomba. Aquest tub realitza la funció de motlle, i permet mantenir els corrons lliures. Amb aquesta nova disposició de la bomba els corrons poden girar amb un fregament molt més baix amb el capçal de la bomba.

Finalment, s'han realitzat proves amb el transformador de càrrega ràpida del mòbil i amb la disposició dels corrons amb gir lliure de la bomba. Un cop la bomba ha estat encebada i en funcionament, el motor girava correctament, però que en algun instant l'aigua no sortia del tub. Aquest fet ve donat perquè els corrons no pressionaven correctament el tub contra la paret de la bomba. S'ha optat per solucionar aquest problema afegint-hi varies capes de cinta aïllant als corrons, d'aquesta manera s'ha aconseguit un diàmetre dels corrons més gran. Un cop afegida a cinta aïllant s'ha comprovat que la bomba funcionava correctament.



*Fig. 6.2 La bomba peristàltica en funcionament*



## 7. Estudi de viabilitat econòmica

En aquest apartat es pretén valorar de forma estimada la viabilitat econòmica d'aquest projecte. Per a dur a terme aquest estudi es valoraran els costos de disseny i els de producció, com també els guanys derivats de la seva comercialització. S'utilitzarà la producció del primer prototip per tal d'estimar els costos de producció en sèrie.

### 7.1. Costos de disseny

Per tal de realitzar l'estimació dels costos de disseny es tindrà en compte el sou d'un enginyer industrial en qualitat de sènior que s'encarregarà de realitzar les diferents tasques de gestió i control a nivell alt, el sou d'un enginyer industrial en qualitat de tècnic júnior que s'encarregarà de les tasques de seguiment i, finalment, el sou d'un becari que s'encarregarà del desenvolupament del projecte. Es tindrà en compte la maquinària utilitzada, però sense tenir en compte el cost de les llicències de software, ja que es menysprearan degut al seu baix cost imputable a aquest projecte.

La duració orientativa de la realització d'aquest projecte s'ha fixat en 300 hores, que és la durada orientativa del Treball Final de Grau. En aquest nombre d'hores, s'hi ha de sumar les diferents tasques de gestió i control, i les tasques de seguiment que es consideraran de 5 hores i de 20 hores respectivament. Els sous que s'han tingut en compte fan referència als trobats a les plantilles de costos de la Fundació CIM.

Pel que fa al maquinari utilitzat, s'ha fet ús d'un ordinador portàtil, el qual es considera que té una vida útil de 5 anys. Considerant que l'ús que se li dona a l'ordinador portàtil és de 2.500 hores a l'any, i que el seu preu és de 600 €, s'imputa a aquest projecte un 2,4 % del seu cost.

Pel que fa a la despesa energètica es comptabilitzen potències de 325 [W] de l'ordinador portàtil i 120 [W] per a la il·luminació. A més es suma un 30 % corresponent a la calefacció durant els mesos d'hivern. En total es comptabilitza per al projecte una despesa energètica de 300 [kWh] amb un cost de 0,15 [€/kWh].

Concepte	Quantitat	Magnitud	Cost unitari	Cost total
Tècnic Sènior	5	Hores	25 €/hora	125 €
Tècnic Júnior	25	Hores	16,8 €/hora	420 €

Becari	300	Hores	7,15 €/hora	2.145 €
Maquinari	2,40	Percentatge	600 €	14,40 €
Energia	300	kWh	0,14	42 €
<b>TOTAL</b>				<b>2.746,40 €</b>

Taula 7.1 Estimació de costos de disseny

## 7.2. Costos de fabricació

A continuació es mostra una taula amb els costos de fabricació que s'han generat al dur a terme la fabricació del prototip de la bomba peristàltica. Aquests costos són una estimació, ja que es tracta d'un sol prototip, i aquest fet sempre encareix el producte.

Concepte	Quantitat	Magnitud	Cost unitari	Cost total
Motor pas a pas	1	Unitats	20,61	20,61 €
Tub PVC	2	m	0,30 €/m	0,60 €
Peces impreses	179,762	cm <sup>3</sup>	0,40 €/cm <sup>3</sup>	71,91 €
Cargols M3 30 [mm]	4	Unitats	0,06 €/unitat	0,24 €
Cargols M3 10 [mm]	4	Unitats	0,06 €/unitat	0,24 €
<b>TOTAL</b>				<b>93,60 €</b>

Taula 7.2 Estimació dels costos de fabricació

## 7.3. Viabilitat econòmica

En aquest apartat es realitzarà l'estudi que permetrà conèixer la inversió inicial necessària, el període de retorn i els costos associats als costos fixos i variables de cada període. Tot seguit s'esmenten els punts que s'han tingut en compte.

Les vendes inicials se suposaran com el 10% de les màquines que es venen actualment a RepRapBCN, per tant, es començarà amb 5 unitats mensuals. Es fixa un ritme de creixement d'una màquina cada dos mesos durant el primer any, i durant el segon any d'una màquina al mes. Es decideix mantenir aquest ritme de creixement fins que s'arribi a la venda de 20 màquines mensuals. S'ha escollit una duració del projecte de dos anys, ja que altres



projectes similars duts a terme a la Fundació CIM s'ha adoptat aquesta durada de projecte.

Els costos fixos de producció consistiran en els sou d'un operari que realitzarà les tasques d'assemblatge dels productes muntats, o l'empaquetament en kits per a muntar, com també de l'aprovisionament dels diferents materials. Per a realitzar aquesta tasca, serà necessària mitja jornada el primer any i jornada completa a partir del segon any.

Els costos indirectes com el lloguer d'espais, costos de gestió, maquinària o la seva amortització i altres costos necessaris per a la producció i manteniment de l'activitat són competència de la Fundació CIM. Els projectes duts a terme a la Fundació CIM tenen una partida anomenada *Corporate* que representa un percentatge del cost de cada projecte o dels beneficis abans d'impostos que produeix. Aquesta partida serveix per cobrir aquestes despeses, en el aquest projecte en particular s'ha ficat un valor del *Corporate* del 10 %.

La inversió inicial necessària consisteix en solament els costos de disseny i de fabricació del prototip. Això és degut a que la Fundació CIM ja disposa de l'estructura necessària per a dur a terme aquesta activitat.

S'ha obtingut un cost de fabricació de 93,60 €, aquest és el preu d'un sol prototip, aquest fet fa encarir el cost del producte, per tant es pot suposar que si es produeix el producte en sèrie es poden reduir els costos com a mínim un 10 %, per tant es tindrà un cost de fabricació de 84,24 €. A partir d'aquest cost de fabricació, es creu que es podria fixar el preu de venda en 220 €.

A la taula següent s'han utilitzat els principals indicadors econòmics, resum dels costos fixos, variables i les inversions que s'han explicat anteriorment. Es troba un VAN (Valor Actual Net) de 2.183,38 € i una TIR (Taxa Interna de Retorn) del 43,67 % i un període de retorn de 2 anys. Aquestes dades i amb una dimensió del projecte de 3.123,99 € afavoreixen a tirar endavant aquest projecte dins de la Fundació CIM, ja que s'han obtingut unes dades força atractives.

Any	Any 0	Any 1	Any 2
Unitats venudes	0	90	195
Fons invertits			
Costos del disseny	2.746,40 €		
Costos de fabricació	93,59 €		
Corporate	284,00 €	-193,00 €	-528,77 €

Fons generats			
Costos fixos		7.300,00 €	14.600,00 €
Costos variables		10.377,00 €	22.483,50 €
Vendes		19.800,00 €	42.900,00 €

BAI		1.930,00 €	5.287,73 €
Impostos (30%)		579,00 €	1.586,32 €
BDI		1.351,00 €	3.701,41 €
Amortitzacions/Corporate		193,00 €	528,77 €

Moviment de flux	-3.123,99 €	1.544,00 €	4.230,18 €
Moviment de flux acumulat	-3.123,99 €	-1.579,99 €	2.650,19 €

VAN (i=5%)	2.183,38 €
TIR	43,67 %
Payback	2n any

*Taula 7.3 Indicadors de viabilitat econòmica*

## 8. Avaluació d'impacte ambiental

L'avaluació d'impacte ambiental d'aquest projecte està regulada per la llei espanyola 21/2013 de 9 de desembre [8]. Aquesta llei defineix aquest procés com:

*“La evaluación ambiental resulta indispensable para la protección del medio ambiente. Facilita la incorporación de los criterios de sostenibilidad en la toma de decisiones estratégicas, a través de la evaluación de los planes y programas. Y a través de la evaluación de proyectos, garantiza una adecuada prevención de los impactos ambientales concretos que se puedan generar, al tiempo que establece mecanismos eficaces de corrección o compensación.*

*La evaluación ambiental es un instrumento plenamente consolidado que acompaña al desarrollo, asegurando que éste sea sostenible e integrador.”*

Seguidament es descriuran les diferents accions i decisions dutes a terme durant aquest projecte per a complir amb la normativa. Es tractarà tant la fase de disseny com la fase de producció.

### 8.1. Fase de disseny

Durant la fase de disseny que s'ha dut a terme en gran mesura en el domicili particular, s'ha seguit una política d'estalvi energètic. En aquest sentit s'ha utilitzat tant com s'ha pogut la llum natural, abans d'utilitzar la llum artificial. S'ha fet un ús raonable dels sistemes de calefacció i refrigeració per tal de seguir amb l'estalvi energètic.

L'ordinador amb el que s'ha treballat, s'ha configurat perquè utilitzi un mètode de baix consum per estalviar el màxim d'energia.

Els residus generats durant la fase de disseny s'han intentat reciclar o reutilitzar. Pel que fa al paper utilitzat, s'han aprofitat les dues cares i un cop ja no es necessitaven més, s'han anat al contenidor corresponent per reciclar-lo. Les impressions s'han intentat reduir al màxim, evitant impressions innecessàries.

### 8.2. Fase de producció

Durant la fase de producció s'han emès gran part dels residus.

La majoria d'aquests residus emesos són el material sobrant, peces defectuoses o trencades, que podran ser reciclades en gran mesura ja que la major part dels components

del producte són reciclables. A més no s'aplica cap tractament que n'impedeixi el reciclatge. La bomba peristàltica i els seus components al estar fabricats a partir de PLA, no tindran problemes de reciclatge, ja que és un polímer termoplàstic. Per tant es podrà fondre i tornar a donar la forma que se li desitgi un cop reciclat.

## Conclusions

El projecte desenvolupa el disseny d'una bomba peristàltica per a transportar xocolata des d'un dipòsit fins a la punta extrusora d'una impressora 3D, com també la fabricació del seu primer prototip funcional. Aquesta bomba ha de permetre la fàcil extracció del tub per tal de ser substituït o netejat.

A partir de la experiència i els coneixements de l'equip de RepRapBCN, s'ha pogut conèixer quin és el comportament del fluid i les característiques necessàries del mecanisme, aquest fet a permès estalviar temps i prendre decisions de forma més ràpida i eficaç, com també evitar possibles errors derivables d'aquestes decisions.

S'ha procedit al disseny del prototip i als càlculs necessaris per a dur a terme la fabricació del prototip. Un cop obtingut el primer prototip, s'ha comprovat que s'ha solucionat el problema que es tenia per substituir el tub, però el disseny del prototip es podria millorar afegint-hi un sistema calefactor per tal de mantenir el fluid que circula pel tub a una temperatura adequada. El prototip actual no té la potència necessària en tots els punts, ja que en algun moment el capçal no avança correctament, es queda obturat, per tant una altre possible millora seria reduir la fricció que hi pugui haver o utilitzar un motor-reductor amb un parell més elevat, per tal de que el mecanisme funcioni sense problemes.

A l'utilitzar els diferent tipus de tub, s'ha pogut constatar que es millora l'ús de la bomba al col·locar un tub més rígid a la sortida, perquè d'aquesta manera el tub no s'infla, que és el que succeeix a l'utilitzar un tub més elàstic.

A l'estudi de viabilitat realitzat, s'obtenen uns bons indicadors econòmics VAN i TIR. S'ha determinat, a més una bona viabilitat del projecte al cap de 2 anys. Aquests resultats ajuden a tirar endavant el projecte, podent reduir el cost final del producte un cop es comenci a fabricar en sèrie.

Ja conclòs el projecte s'ha materialitzat la bomba peristàltica que permet la impressió de peces a partir de xocolata de forma continua a partir d'una impressora 3D domèstica, adaptable a la impressió d'altres materials en estat fluid. Permetrà crear peces com les creades amb el *paste extruder*, però amb una mida major, ja que es podrà imprimir de forma continua.



## Agraïments

La confecció d'aquest projecte ha estat duta a terme de forma individual, però no hauria pogut ser possible sense l'ajuda de moltes persones. Per aquest motiu no m'agradaria concloure sense agrair a totes aquestes persones que han sigut participes d'aquest projecte d'una manera o una altra.

Primer de tot mostrar el meu agraïment a en Joaquim Minguella director d'aquest projecte, que sense la seva ajuda, consells i experiència no hagués estat possible.

Agrair també al Roger Cardona, per la seva paciència i la seva experiència, com també les seves recomanacions, que sense elles segurament aquest projecte no hagués pogut avançar tant ràpidament.

Als amics que m'han fet costat durant aquests anys, per mostrar-me una altra manera de veure les coses, que m'han fet costat i m'han ajudat a arribar fins aquí.

A en Quim Torrellas per a la seva inesperada ajuda a última hora per poder-ho posar tot en funcionament sense problemes.

Finalment un últim agraïment per a la meua família per fer-me costat en tot moment, i no permetre'm d'abaixar els braços en els moments d'hores baixes. I també per la formació que m'han donat.





## Bibliografia

### Referències bibliogràfiques

- [1] UNIVERSITAT DE BARCELONA. INFORMACIÓ. *La UB i la UPC inauguren un laboratori de demostracions tecnològiques i recerca culinària*. [[http://www.ub.edu/web/ub/ca/menu\\_eines/noticies/2015/07/045.html](http://www.ub.edu/web/ub/ca/menu_eines/noticies/2015/07/045.html), 20 d'octubre de 2015]
- [2] 3D PRINTERS BY ZMORPH [<http://zmorph3d.com/3d-printers/>, 26 d'octubre de 2015]
- [3] TOBECA                                      PRODUITS:                                      COSMED                                      333  
[[http://www.tobeca.fr/doc/fiches\\_produits/Fiche\\_Tobeca\\_COSMED\\_333.pdf](http://www.tobeca.fr/doc/fiches_produits/Fiche_Tobeca_COSMED_333.pdf),                                      26  
d'octubre de 2015]
- [4] NATURAL MACHINES [<https://www.naturalmachines.com/faq/>, 26 d'octubre de 2015]
- [5] RAVENTÓS SANTAMARIA, M. *Tecnologia de fluids alimentaris*. Edicions UPC, Barcelona. 2005, p. 223.
- [6] DE LAS HERAS, S. *Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas*. Edicions UPC, Barcelona. 2011, p. 174
- [7] STEPPER CONTROL WITH ARDUINO [<http://www.instructables.com/id/Arduino-Motor-Shield-Tutorial/?ALLSTEPS>, 20 de desembre de 2015]
- [8] BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO. *BOE Núm. 296: 12913 Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental*. Jefatura del Estado, 2013, p.1.

### Bibliografia complementària

AGULLÓ, J. *Mecànica de la partícula i del sòlid rígid*. Barcelona, Publicacions OK PUNT, 2002.

TENA, G. *Disseny, concepció i materialització d'un extrusor de materials plàstics adaptable a una impressora 3D domèstica*. Projecte final de carrera. Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona, 2014.

ZAYAS, E. MARTÍNEZ, J. *Tecnologies de Fabricació i Tecnologia de Màquines: Tecnologia de Màquines*. Barcelona, Departament d'Enginyeria Mecànica, 2008.